

複雑ネットワーク成長メカニズムにおける優先的選択性と推移性の ノンパラメトリック同時推定

井上 雅章^{1,2}, Pham Thong², 下平 英寿^{1,2}

¹ 京都大学大学院 情報学研究科

² 理化学研究所 革新知能統合研究センター

実世界のネットワーク構造を解析する研究は複雑ネットワーク分野として発展しており、ネットワークの多くが、ノードの次数がべき分布に従うというスケールフリー性、三角構造が多く形成されているというクラスター性などの構造的な性質を示すことが明らかになっている。

多くの先行研究ではスケールフリー性を説明するため、ノードの次数が大きいほど新しいエッジを獲得しやすい（優先的選択性）、という成長メカニズムを導入している。このメカニズムでは、ノードが新しいエッジを獲得する確率がノードの次数 k の関数 A_k で定義されている。 A_k の推定については、関数形にある種の滑らかさだけを仮定するノンパラメトリックな推定法や、関数形を $A_k = k^\alpha$ と仮定して α を推定するパラメトリック推定法などの多くの先行研究がある。また、クラスター性を説明するためにノードペアに共通隣接ノードが多いほどそのペア間にエッジが発生しやすい（推移性）、という成長メカニズムを導入した研究では、あるノードペアがエッジを獲得する確率を、そのノードペアの共通隣接ノード数 b の関数 B_b で定義している。

優先的選択性と推移性のメカニズムを比較する既存の研究としては、(i) A_k と B_b をそれぞれ個別に推定して比較を行う [1]、あるいは、(ii) A_k と B_b についてある関数形を仮定した上で同時推定し比較を行うもの [2, 3] がある。これらの比較手法では、それぞれ以下の問題点がある。

(i) の問題点 現実世界の多くのネットワークでは、スケールフリー性とクラスター性は同時に存在しているため、 A_k と B_b を個別に推定した場合、推定結果に偏りが生じる可能性がある。

(ii) の問題点 推定に用いる関数形が正しく選択されたかどうかを確かめるのは困難である。

上述の問題点を踏まえて、本研究では、ネットワーク成長におけるこれらのメカニズムの強さを比較するための手法として、優先的選択性を決定づける A_k と推移性を決定づける B_b をノンパラメトリックに同時推定する手法を提案した。これにより、ネットワーク成長において両メカニズムがもつ影響力を偏りなく定量化し、比較することが可能となった。提案法では、ネットワーク成長における優先的選択性と推移性のメカニズムを組み合わせたノンパラメトリックモデルにより、最尤推定法を用いて A_k および B_b を同時推定している。また、科学論文の共著者ネットワークについて複数分野のデータセットの解析を行った。本発表は [4] に基づいている。

参考文献

- [1] M. E. J. Newman. Clustering and Preferential Attachment in Growing Networks. *Phys. Rev. E*, 64:025102, 2001.
- [2] Ruth M. Ripley, Tom A.B. Snijders, Zsófia Boda, András Vörös, and Paulina Preciado. *Manual for SIENA version 4.0 (version May 24, 2018)*. Oxford: University of Oxford, Department of Statistics; Nuffield College, 2018. <http://www.stats.ox.ac.uk/~snijders/siena/>.
- [3] Tom A.B. Snijders, Gerhard G. van de Bunt, and Christian E.G. Steglich. Introduction to Actor-Based Models for Network Dynamics. *Social Networks*, 32:44–60, 2010.
- [4] Masaaki Inoue, Thong Pham, and Hidetoshi Shimodaira. Transitivity vs Preferential Attachment: Determining the Driving Force behind the Evolution of Scientific Co-authorship Networks. In *Proceedings of The 9th International Conference on Complex Systems*, 2018.